姜蛋白脱除刺梨果汁中单宁的工艺研究

刘治年 [1,2]，吴豫平 [1,2]，王欣颖 [3]，田弋夫 [2]，林剑 [2]，余德顺 [1,2*]
（1. 贵州大学 化学与化工学院，贵阳 550025；2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室，超临界流体技术研究中心，贵阳 550081；3. 贵州初好农业科技开发有限公司，贵州 六盘水 553000）

摘 要：为有效脱除刺梨果汁（*Rosa roxburghii* juice，RRTJ）中的单宁，降低其涩味改善口感。该研究以刺梨果汁为对象，采用化学沉淀法，以姜蛋白为单宁脱除剂，并以单宁脱除率和维生素 C（VC）保留率为考察指标，采用单因素和正交实验优化姜蛋白脱除单宁工艺确定最优工艺。结果表明：（1）姜蛋白脱除刺梨果汁单宁的最优工艺条件为液固比 30:1.2（mL:g），果汁 pH 3.0，搅拌温度 5 ℃，搅拌时间 30 min；（2）由正交实验分析知，各因素对刺梨果汁脱除单宁的影响程度依次为液固比＞搅拌温度＞刺梨汁 pH＞搅拌时间；（3）在最优工艺条件下，单宁脱除率为（47.451±0.608）%，VC 保留率为(75.904±1.244)%;(4)在最优工艺条件下，果汁透光率从(8.44±0.662)%提高到(92.47±0.297)%，涩味明显改善，同时丰富了刺梨果汁风味。综上认为，该研究为解决刺梨果汁深加工行业面临的共性关键技术问题提供了一个新思路和新工艺技术路线基础，也为拓展生姜资源的综合利用奠定了一定技术基础。

关键词：刺梨果汁，姜蛋白，单宁，化学沉淀法，维生素 C（VC）

中图分类号：Q946　　　　**文献标识码：** A

Study on the process of removing tannins from *Rosa roxburghii* juice using ginger protein

LIU Zhinian[1, 2], WU Yuping[1, 2], WANG Xinying[3], TIAN Yifu[2], LIN Jian[2], YU Deshun[1, 2*]
(1. *College of Chemistry and Chemical Engineering*, *Guizhou University*, Guiyang 550025, China; 2. *Research Center of Supercritical Fluid Technology*, *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry*, *Institute of Geochemistry*, *Chinese Academy of Sciences*, Guiyang 550081, China; 3. *Guizhou Chuhao Agricultural Science and Technology Development Co.*, *Ltd.*, Liupanshui 553000, Guizhou, China)

Abstract: With the aim of effectively eliminating tannin from *Rosa roxburghii* juice (RRTJ), reducing astringency, and enhancing its taste. This study applied chemical precipitation, and utilized ginger protein as the tannin remover. Besides, tannin removal rate and VC retention rates were adopted as the key analytical parameters. In addition, single-factor and orthogonal experiments were used to determine the optimal tannin removal process for ginger protein. The key findings are as follows: (1) The optimal conditions for removing tannin from RRTJ with ginger protein were a liquid-solid ratio of 30:1.2 (mL:g), juice pH of 3.0, a stirring temperature of 5 ℃, and a stirring time of 30 min; (2) According to orthogonal experimental analysis, the degree of influence of various factors on the removal of tannin from RRTJ was as follows: liquid-solid ratio > stirring temperature > pH of RRTJ > stirring time. (3) Under the optimal process conditions, the tannin removal rate and VC retention rate were (47.451 ± 0.608)% and （75.904 ± 1.244）% respectively; (4) Under the optimal process conditions, juice transmittance rate increased from (8.44 ± 0.662)% to (92.47 ± 0.297)%, the astringency of RRTJ was significantly reduced, and its flavor improved. In summary, this study provides a novel approach and a new technological route for solving common key technical problems faced

基金项目：中国科学院科技扶贫项目（KFJ-FP-202103）；中国科学院科技支撑乡村振兴项目（KFJ-FU-202201）[Supported by Science and Technology Poverty Alleviation Project of Chinese Academy of Sciences（KFJ-FP-202103）；Science and Technology Support Rural Revitalization Project of Chinese Academy of Sciences（KFJ-FU-202201）]。
第一作者：刘治年（1997-），硕士研究生，研究方向为精细化工与绿色制造，（E-mail）1962895481@qq.com。
***通信作者：**余德顺，研究员，硕士研究生导师，主要从事生物资源开发与精细化工、超临界流体技术，（E-mail）yudeshun@mail,gyig.ac.cn。

by the deep processing industry of RRTJ and also lays a certain technical foundation for exploiting ginger resources comprehensively.

Key words: *Rosa roxburghii* juice, ginger protein , tannin , chemical precipitation , vitamin C (VC)

刺梨（*Rosa roxburghii*）为蔷薇科多年生灌木，其果实为扁球形浆果，密生软刺，成熟时为黄棕色。在我国主要分布于贵州、四川、广西等亚热带及暖温带地区，尤其以贵州分布最为广泛，作为贵州民族药材被广泛应用（梁勇等，2022），刺梨种植及其果实的精深加工产品也是现阶段当地脱贫攻坚衔接乡村振兴的重要产业。刺梨果实中含有多糖、黄酮、三萜类化合物、VC、单宁等多种活性成分（付阳洋等，2020），其主要生物活性作用有抗氧化、预防癌症、血糖干预等（张怀山等，2022；伍勇等，2023），由于刺梨的VC含量颇丰，被誉为“维生素C之王”（赵斯尘等，2022），是营养价值及药用价值都很高的“第3代水果”（胡斯杰等，2017）。但单宁在刺梨果实中的含量也非常丰富，一般在0.6%以上，最高者可达2.2%（罗小杰，2011），导致刺梨及其加工的原果汁具有较重的酸涩味。其原因是因为单宁与口腔粘膜上的蛋白质相互作用时，唾液失去润滑性，舌尖皮组织收缩，有干燥感，从而产生涩味（Soares et al., 2018）。过高的单宁还易发生褐变且产生沉淀（张家臣等，2020），严重影响刺梨及其加工产品的口感、货架寿命及在市场上的推广销售，因此如何在尽可能保留VC含量的同时降低刺梨原果汁中单宁含量以改善口感、延长其贮藏周期是刺梨产业面临的一个共性关键问题。

目前已见报道的降低刺梨果汁苦涩味即脱除单宁的常见工艺方法有：物理吸附法、化学沉淀法、生物水解法、以及综合处理法，物理吸附法主要运用活性炭、大孔吸附树脂（王习霞等，1994；岳珍珍等，2016）等对刺梨单宁进行吸附；化学沉淀法主要采用壳聚糖、明胶（梁芳等，2011）等与单宁反应形成沉淀；生物水解法主要用单宁酶（罗昱等，2013；朱一方等，2020）对单宁进行水解；综合处理法是将上述三种方法进行适当组合（张瑜等，2016；金佳幸等，2022）；但目前脱除刺梨果汁单宁的工艺方法都不尽完善，大多工艺均存在处理时间长、果汁澄清效果差或VC保留率低等问题，缺乏实际推广应用，因此，非常有必要研究开发一种脱除刺梨果汁单宁的新工艺方法。单宁与蛋白质相互作用形成沉淀（Szczurek, 2021）是其特有化学性质，生姜蛋白酶是一类重要的植物蛋白属木瓜蛋白酶一族，具有良好的抗菌、抗炎、抗氧化等生物活性和澄清等作用（唐泽群等，2021），姜蛋白作用于刺梨果汁进行单宁脱除以改善刺梨果汁涩味的相关研究尚未见到报道。

本研究以刺梨果汁为研究对象，利用蛋白质和单宁特异性沉淀作用的原理，采用化学沉淀法分离单宁，通过单因素实验和正交实验优化姜蛋白脱除刺梨单宁的工艺，探讨以下问题：（1）姜蛋白脱除单宁的效果如何；（2）姜蛋白脱除单宁过程中对VC含量的影响如何；（3）原刺梨果汁与脱除单宁后果汁的透光率、色泽、口感的变化如何。本研究以期为刺梨果汁脱单宁降涩味及改善相关感官提供新技术工艺路线，也为拓展生姜资源综合利用提供新途径。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

原料：刺梨果原汁，贵州初好农业科技开发有限公司提供（2022年9月产，储藏于1~4 ℃冷库）；姜渣，本实验室按朱艺佳等（2023）超临界CO_2姜油提取法提取姜油后得到，其原料生姜产自贵州省水城区中科院扶贫项目示范种植地，系当地小黄姜品种。

试剂：抗坏血酸、没食子酸，源叶科技有限公司，分析纯；柠檬酸、碳酸氢钠，潍坊英轩实业有限公司，食品级；其余试剂均为分析纯；实验用水为实验室纯水系统制备二次纯净水。

1.2 仪器和设备

HPLC（1260），美国安捷伦仪器公司；U-T 6紫外分光光度计，北京普析通用有限责任公司；WGLL-30 BE电热鼓风干燥箱，天津市泰斯特仪器有限公司；DHS-16 A水份测定仪，宁波力辰科技；TG 16-WS高速台式离心机，湖南迈克尔实验仪器有限公司；DF-101 S集热式恒温加热磁力搅拌器，上海力晨邦西仪器科技有限公司；Model pHS-3 C pH Meter，上海双旭电子有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 姜蛋白提取

参照陈文平等（2016）的提取方法并进行预实验后，确定姜蛋白提取方案为：姜渣与提取溶剂纯净水料液比 1:23（g:mL），混匀后将其置于 5 ℃冰浴条件下搅拌提取 3 h，抽滤除姜渣再离心（6 000 r·min^{-1}，20 min）除淀粉，加入 20 mmol·L^{-1} 的柠檬酸使蛋白聚集沉淀，离心（6 000 r·min^{-1}，20 min）收集沉淀，于 4 ℃冰箱保存待用。该姜蛋白含水率（88.52±1.52）%，姜蛋白提取率（8.53±0.66）%，姜蛋白纯度（58.50±2.23）%；在脱除单宁的实验过程中，姜蛋白添加量按干重计，即 10.00 g 湿蛋白按 1.15 g 姜蛋白计。

1.3.2 刺梨单宁脱除

量取 30 mL 刺梨原汁于 100 mL 烧杯中，用柠檬酸、碳酸氢钠饱和溶液调节 pH 至一定值，按体积质量比（mL:g）添加 1.3.1 中提取得到的姜蛋白，然后在设定温度的恒温水浴锅中匀速搅拌进行单宁脱除反应一定时间，实验温度低于室温时采用冰浴调节，反应完成后取出转移至高速离心机中，设定转速 6 000 r·min^{-1} 离心 20 min，收集上清液，检测单宁含量和 VC 含量。

1.3.3 指标测定

单宁含量的测定：采用 NY/T 1600-2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定分光光度法》。标准曲线方程为 y=0.115 84x+0.0284 2，R^2=0.998 2，线性范围 0 mg·L^{-1}~10 mg·L^{-1}，式中：x 为样品的吸光度值（Abs 765 nm）；y 为刺梨单宁含量值。

VC 含量的测定：参照钱志瑶等(2021)的高效液相色谱检测方法，标准曲线方程为 y=91.1x+27，R^2=0.999 8，线性范围 0~100 μg·mL^{-1}，其中 x 代表 VC 的含量值；y 代表 VC 的峰面积。

透光率的测定：参照罗小杰（2011）的检测方法，以水作参比，在 560 nm 处测定刺梨果汁透光率 T 560 nm。

1.3.4 指标分析

姜蛋白提取率见计算式（1）

$$蛋白提取率（\%）=\frac{沉淀干重（g）}{干姜粉质量（g）}\times 100 \qquad （1）$$

姜蛋白纯度见计算式（2）

$$蛋白纯度（\%）=\frac{沉淀中的蛋白含量（g）}{沉淀质量（g）}\times 100 \qquad （2）$$

单宁脱除率见计算式（3）

$$E=\frac{S_0-S_1}{S_0}\times 100 \qquad （3）$$

式中：E 为单宁脱除率（%）；S_0 为刺梨果汁初始单宁含量（mg·L^{-1}）；S_1 为刺梨果汁脱除单宁后的剩余单宁含量（mg·L^{-1}）。

VC 保留率见计算式（4）

$$R=\frac{m_2}{m_1}\times 100 \qquad （4）$$

式中：R 为 VC 的保留率（%）；m_1 为刺梨果汁初始 VC 含量（μg·mL^{-1}）；m_2 为刺梨果汁脱单宁后 VC 含量（μg·mL^{-1}）。

1.3.5 单因素实验设计

1.3.5.1 液固比对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

刺梨果汁与姜蛋白液固比 30:0.3、30:0.6、30:0.9、30:1.2、30:1.5、30:1.8（mL:g），刺梨果汁 pH 3.5，搅拌温度 25 ℃，搅拌时间 45 min。

1.3.5.2 姜蛋白作用 pH 对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

液固比 30:0.9（mL:g），刺梨果汁 pH 值 2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0，搅拌温度 25 ℃，搅拌时间 45 min。

1.3.5.3 搅拌温度对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

液固比 30:0.9（mL:g），刺梨果汁 pH 3.5，搅拌温度 5、15、25、35、45、55 ℃，搅拌时间 45 min。

1.3.5.4 搅拌时间对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

液固比 30:0.9（mL:g），刺梨果汁 pH 3.5，搅拌温度 5 ℃，搅拌时间 15、30、45、60、75、90 min。

1.3.6 正交实验设计

根据单因素实验结果确定正交实验水平，以单宁脱除率和 VC 保留率为实验考察指标。以刺梨果汁与姜蛋白液固比、刺梨果汁 pH、搅拌温度、搅拌时间做四因素三水平正交实验 L_9（3^4），正交实验设计见表 1。

表 1 正交实验因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平 Level	因素 Factor			
	A 液固比 Liquid-solid ratio （mL:g）	B 刺梨果汁 Juice of *Rosa roxburghii*（pH）	C 搅拌温度 Stirring temperature （℃）	D 搅拌时间 Stirring time （min）
1	30:0.6	3.0	5	30
2	30:0.9	3.5	15	45
3	30:1.2	4.0	25	60

1.4 数据处理

每组数据进行 3 次平行实验，实验数据均用平均值±标准偏差表示。应用 Excel 2019 进行数据分析，使用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果分析

2.1.1 液固比对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

由图 1 可知，随着刺梨果汁与姜蛋白液固比值的减小，单宁脱除率增大，当液固比减小到一定程度时，单宁脱除率趋于平缓，当液固比达到 30:1.5（mL:g）时，刺梨果汁中高分子量的单宁与姜蛋白反应基本处于平衡状态。有研究表明蛋白质与 VC 在静电作用力下会自发地相互结合（梁文慧等，2022），由图 1 可知，随着液固比的减小，姜蛋白与 VC 相互结合的量越多，VC 保留率减小。综上，选择液固比为 30:0.9（mL:g）时，单宁脱除率较好，VC 保留率也相对较高。

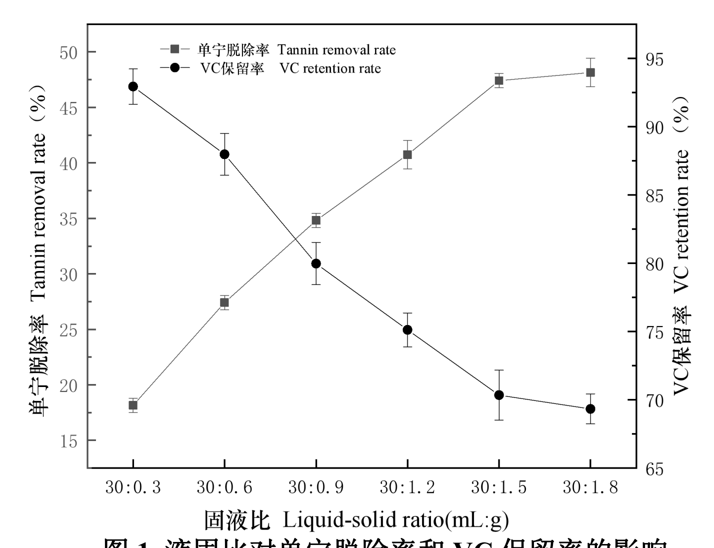


图 1 液固比对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

Fig.1 Effects of liquid-solid ratio on tannin removal rate and VC retention rate

2.1.2 姜蛋白作用 pH 对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

由图 2 可知，pH 对单宁脱除率的影响很小，无明显变化，但是对 VC 保留率有较大的影响。刺梨原汁的 pH 为 3.5 左右，调节 pH 后会破坏刺梨果汁的原环境，进而对 VC 的保留有较大的影响。在实验过程中发现，当调节的 pH 过大地偏离原果汁的 pH 时，果汁褐变氧化程度加大。综上，选择 pH 为 3.5 较为适宜。

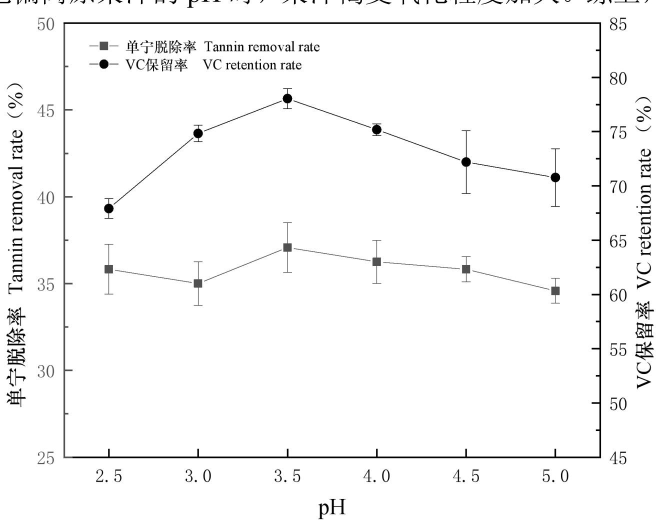


图 2 pH 值对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

Fig.2 Effects of pH on tannin removal rate and VC retention rate

2.1.3 搅拌温度对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

温度是影响单宁类化合物与蛋白质结合的重要环境因素之一，主要影响氢键和疏水相互作用。由图 3 可知，温度对单宁脱除率的影响较大，随着温度的升高单宁脱除率减小，有研究表明低温环境更有利于单宁与蛋白质结合（Prigent et al., 2003）。VC 的保留率也随温度的升高而降低，有研究表明 VC 在温度较低的环境下相对稳定，温度升高会破坏 VC 的稳定性（张彩芳等，2017）。综上，选择搅拌温度为 5 ℃较为适宜。

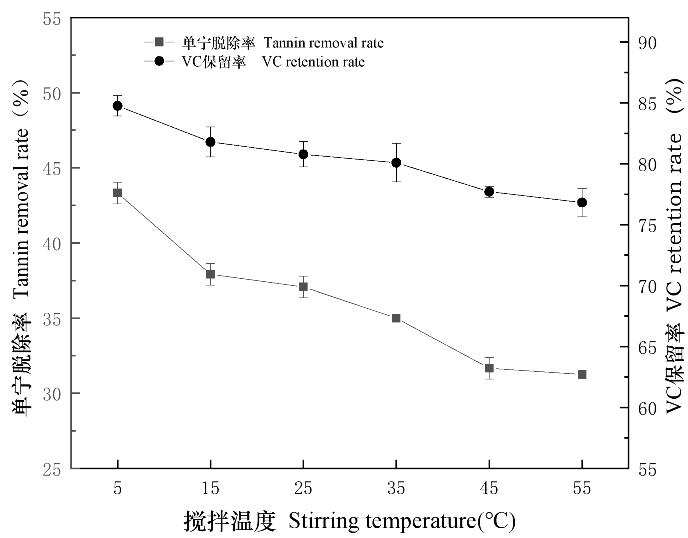


图 3 搅拌温度对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

Fig.3 Effects of stirring temperature on tannin removal rate and VC retention rate

2.1.4 搅拌时间对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

由图 4 可知，随着搅拌时间的增加，单宁脱除率呈先增加后降低的趋势，当搅拌时间为 45 min 时，单宁的脱除率最高。有研究表明单宁与蛋白质相互结合的过程属于可逆反应（李海鹏等，2006），由此可知当单宁与蛋白相互结合达到平衡后，长时间搅拌单宁会从聚合物中释放出来。VC 保留率随着搅拌时间的增加缓慢降低，蛋白作用于刺梨汁的时间越久，蛋白与 VC 之间结合的量越多，导致 VC 的保留率降低。综上，选择搅拌时间为 45 min 较为适宜。

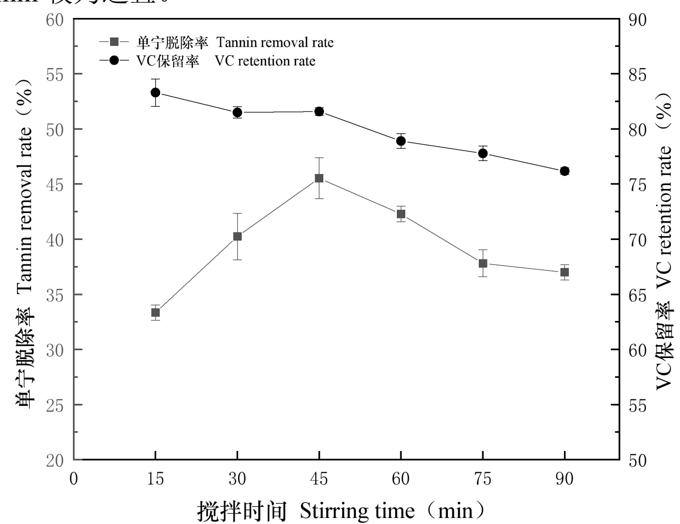


图 4 搅拌时间对单宁脱除率和 VC 保留率的影响

Fig. 4 Effects of stirring time on tannin removal rate and VC retention rate

2.2 正交实验结果分析

根据单因素实验结果的分析，采用 L_9（3^4）正交实验表对刺梨果汁单宁脱除和 VC 保留的工艺进一步优化，结果见表 2。

由表 2 可知，极差 R 的波动幅度代表了实验因素对单宁脱除率和 VC 保留率的影响程度，影响刺梨果汁中单宁脱除影响因素的主次顺序为 A＞C＞B＞D，其最优组合为 $A_3B_1C_1D_1$，对应的加工工艺条件是刺梨果汁与姜蛋白液固比 30:1.2（mL:g），刺梨果汁 pH 为 3.0，搅拌温度 5 ℃，搅拌时间 30 min；对果汁中 VC 保留影响因素的主次顺序为 A＞B＞C＞D，其最优组合为 $A_1B_2C_3D_1$，对应的加工工艺条件是刺梨果汁与姜蛋白液固比 30:0.6（mL:g），刺梨果原汁 pH 为 3.5，搅拌温度 25 ℃，搅拌时间 30 min。由于以上最

优工艺组合不在正交表中，故对最优工艺进行实验验证，进行 3 次平行实验。最优单宁脱除的实验组合结果表明，单宁脱除率为（47.451±0.608）%，VC 保留率为（75.904±1.244）%；最优 VC 保留的实验组合结果表明，单宁脱除率为（30.392±0.886）%，VC 保留率为（85.902±1.459）%。两组最优实验的 VC 保留率相差 10%左右，单宁脱除率相差 17%左右，单宁脱除率的变幅大于 VC 保留率的变幅，本研究虽同时以单宁脱除率和 VC 保留率为考察指标，但目的是最大程度脱除单宁以解决涩味这一关键问题，同时尽可能保留 VC，因此确定最优工艺方案为 $A_3B_1C_1D_1$。

表 2 正交实验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment

实验号 Test number		A 液固比 Liquid-solid ratio (mL:g)	B 刺梨汁 Juice of *Rosa roxburghii* (pH)	C 搅拌温度 Stirring temperature (℃)	D 搅拌时间 Stirring time (min)	单宁脱除率 Tannin removal rate (%)	VC 保留率 VC retention rate (%)
1		1（30:0.6）	1（3.0）	1（5）	1（30）	35.772±0.704	82.761±1.392
2		1	2（3.5）	2（15）	2（45）	32.114±1.863	86.897±2.139
3		1	3（4.0）	3（25）	3（60）	27.642±1.863	85.827±2.077
4		2（30:0.9）	1	2	3	40.244±1.220	75.536±3.070
5		2	2	3	1	38.211±1.408	84.218±2.192
6		2	3	1	2	40.650±0.704	78.621±0.744
7		3（30:1.2）	1	3	2	42.276±1.408	70.976±1.077
8		3	2	1	3	45.122±1.220	70.593±1.767
9		3	3	2	1	42.683±1.220	70.045±0.352
单宁脱除率 Tannin removal rate	K_1	95.528	118.293	121.545	116.667	单宁脱除率最优组合 Optimal combination of tannin removal rate $A_3B_1C_1D_1$	
	K_2	119.106	115.447	115.041	115.041		
	K_3	130.081	110.976	108.130	113.008		
	R	34.553	7.317	13.415	3.659		
VC 保留率 VC retention rate	K_1	255.485	229.273	231.976	237.025	VC 保留率最优组合 Optimal combination of VC retention rate $A_1B_2C_3D_1$	
	K_2	238.376	241.709	232.478	236.495		
	K_3	211.614	234.493	241.021	231.956		
	R	43.871	12.435	9.045	5.069		

2.3 姜蛋白脱单宁对刺梨果汁的影响

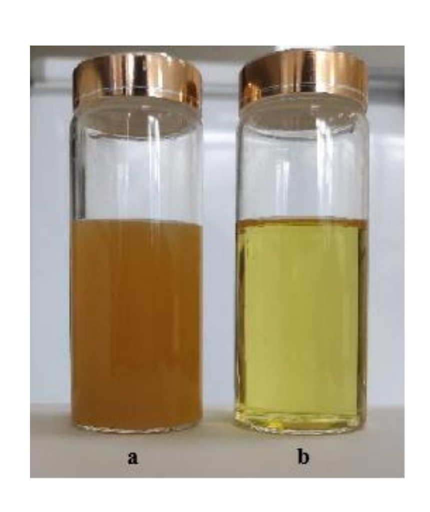
通过单因素实验和正交优化后的姜蛋白脱除刺梨果汁单宁工艺，在最优参数条件下制备脱涩刺梨果汁，对其单宁含量、VC 含量、透光率、色泽和口感进行了相关分析并与刺梨果原汁进行了对比，结果见表 3；其色泽感官对比图见图 5。

表 3 姜蛋白脱单宁对刺梨果汁的影响

Table 3 Effect of tannin removal by ginger protein on *Rosa roxburghii* juice

实验组 Test group	单宁含量 Tannin content（$mg·mL^{-1}$）	VC 含量 VC content（$mg·mL^{-1}$）	透光率 Transmittance（%）	色泽 Color	口感 Tasted
刺梨果原汁 Raw juice of *Rosa roxburghii*	16.91±0.101	16.09±0.062	8.44±0.662	浑浊，暗黄色，久置易褐变且产生沉淀 Turbid, dark yellow, easy to brown and precipitate after a long time	刺梨果香味浓郁，涩味较重，口腔有明显干燥感 *Rosa roxburghii* unique aroma rich, but heavy astringency

脱涩刺梨果汁 Detannin juice of *Rosa roxburghii*	8.93±0.054	12.20±0.092	92.47±0.397	清亮透明，金黄色，久置颜色变化很小且基本无沉淀产生 Clear and transparent, golden yellow, basically no precipitation	刺梨果香味浓郁，带有淡淡的姜香味，略有涩味，口腔无明显干燥感 *Rosa roxburghii* unique aroma rich, with a slight ginger flavor, and light astringency



a. 刺梨果原汁；**b**. 脱涩刺梨果汁。

a. Raw juice of *Rosa roxburghii*; **b**. Detannin juice of *Rosa roxburghii*.

图 5 姜蛋白脱单宁对刺梨果汁的感官影响

Fig. 5 Sensory effects of ginger protein detannin on *Rosa roxburghii* juice

3 讨论与结论

刺梨果汁中单宁主要类型为没食子酸类的水解单宁（Huang et al., 2022），其含量过高时带来较重的涩味影响口感，在一定条件下发生分解反应产生 CO_2（聂宏达，2017），与空气接触易变色，以及在贮藏过程中与刺梨中的其他大分子物质如刺梨蛋白、多糖等作用形成沉淀进一步影响感官，也即该行业中刺梨果汁（原汁）面临的如何解决酸涩味、胀气、褐变及沉淀等技术难题，导致严重影响了刺梨果汁市场营销及作为原料进一步的加工生产。

已有报道利用蛋白质来脱除刺梨果汁单宁的蛋白主要有明胶和单宁酶，梁芳等（2011）研究不同添加剂对刺梨果汁单宁的脱除，明胶添加量 0.8%，充分搅拌，自然放置 15 h 后测定各项指标，单宁脱除率达到 54.4%，但 VC 保留率仅为 42.85%，虽然其单宁脱除率良好，但其处理时间长，VC 保留率低；罗昱等（2013）使用单宁酶脱除刺梨果汁单宁的最优工艺，单宁酶添加量 0.12%、pH 4.5、脱除温度 45 ℃、脱除时间 100 min，单宁脱除率为 76.07%，VC 保留率为 72.13%，虽然其单宁脱除率较高、VC 保留率良好，但澄清效果不明显，不能解决果汁褐变问题。单宁最重要的化学性质之一是与蛋白发生絮凝形成沉淀（石长波等，2022），姜蛋白是一种具有开发前景的植物蛋白，因此，选择姜蛋白与刺梨果汁中的单宁作用形成姜蛋白-刺梨单宁沉淀，分离沉淀可达到脱除单宁降低涩味的目的。本研究提出的姜蛋白脱除刺梨单宁，最优工艺技术条件为姜蛋白与刺梨原果汁的液固比 30:1.2(mL:g），调节果汁 pH 至 3.0，反应温度 5 ℃，搅拌时间 30 min，在最优工艺下单宁脱除率为（47.451±0.608）%、VC 保留率为（75.904±1.244）%，果汁透光率从（8.44±0.662）%提高到（92.47±0.297）%，单宁脱除效果良好，VC 保留率较高，澄清效果明显，同时还丰富了刺梨果汁的风味；与已有研究相比，本研究的单宁脱除率较明胶、单宁酶法处理后的脱出率相对偏低，其原因可能与提取到的姜蛋白中含有部分淀粉等杂质有关，显示作为单宁脱出剂的姜蛋白有进一步纯化的必要；VC 保留率相对较高，其原因与本研究中处理时间短和温度低有关，长时间暴露在温度较高的环境中 VC 易氧化褐变。

单宁具有抗氧化、抑菌、调节血糖等（黄达荣等，2021）生物活性，在刺梨果汁中完全去除不可能也没有必要，且过度去除也还会影响果汁中 VC 的保留率，本研究结果显示：采用姜蛋白脱除刺梨果汁中单宁的新工艺在尽可能除去单宁降低涩味的同时最大程度地保留了 VC，同时还对果汁起到良好的澄清作用，技术可行，操作简单，添加量较少且来源于植物提取物安全性更高，对解决刺梨果汁脱涩这一行业关键共

性技术问题提供了新思路，奠定了新的技术路线基础，也为生姜资源综合利用拓展领域提供了新的方向和技术支撑。

参考文献：

CHEN WP, ZHU ZW, FAN SJ, 2016. Process optimization of ginger protease extraction by citric acid precipitation [J]. J Food Safe Qual, 7(10): 4216-4220. [陈文平，朱照武，樊世杰，2016. 柠檬酸沉淀法提取生姜蛋白酶的工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报，7(10): 4216-4220.]

FU YY, LIU JM, LU XL, et al., 2020. Research progress on main active components and pharmacological effect of *Rose roxburghii* Trett [J]. Sci Technol Food Ind, 41(13): 328-335. [付阳洋，刘佳敏，卢小鸾，等，2020. 刺梨主要活性成分及药理作用研究进展[J]. 食品工业科技，41(13): 328-335.]

HU SJ, TONG CQ, ZHENG LP, et al., 2017. Chemical composition pharmacological effects and property taste and meridian tropism of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. Farm Prod Proc, (5): 48-50.[胡斯杰，佟长青，郑鲁平，等，2017. 刺梨的化学成分 药理作用与性味归经[J]. 农产品加工，(5): 48-50.]

HUANG D, LI C, CHEN Q, et al., 2022. Identification of polyphenols from *Rosa roxburghii* Tratt pomace and evaluation of *in vitro* and *in vivo* antioxidant activity[J]. Food Chem, 377: 131922.

HUANG DR, ZHANG YZ, ZHENG BT, et al.,2021. Reviw on separation, purification and functional activity of plant tannin [J]. Food Mach, 37(8): 225-230. [黄达荣，张雅甄，郑百涛，等，2021. 植物单宁分离提纯及功能活性研究进展[J]. 食品与机械，37(8): 225-230.]

JIN JX, ZHANG HJ, YUE HL, et al., 2022. Research on deastringency of raw chestnut rose juice and preparation of its blended fruit-vegetable juice with pear and pumkin [J]. Sci Technol Food Ind, 43(16): 255-262. [金佳幸，张海娟，岳华岭，等，2022. 金刺梨原汁脱涩及其与梨-南瓜复配果蔬汁的研制[J]. 食品工业科技，43(16): 255-262.]

LI HP, 2006. Study on the interaction of tannic acid with trypsin and BSA [D]. Taiyuan: Shanxi University. [李海鹏，2006. 单宁酸与胰蛋白酶和牛血清白蛋白相互作用的研究[D]. 太原：山西大学.]

LIANG F, GAO X, YANG X, et al., 2011. Effects of different additives on the quality stability of *Rosa roxburghii* Trett. juice[J]. Food Sci,32(23): 53-57. [梁芳，高霞，杨雪，等，2011. 不同添加剂对刺梨果汁品质稳定性的影响[J]. 食品科学，32(23): 53-57.]

LIANG WH, WANG XT, HUANG LL, et al., 2022. Study on the interaction between vitamin C drug molecule and bovine serum albumin [J]. Shandong Chem Ind, 51(19): 15-19. [梁文慧，王雪婷，黄璐璐，等，2022. 维生素 C 药物分子与牛血清白蛋白相互作用的研究[J]. 山东化工，51(19): 15-19.]

LIANG Y,LI LQ, WANG L, et al., 2022. Chemical constituents and their anti-inflammatory activities from rhizome of ethnic medicine *Rosa roxburghii*[J]. Guihaia, 42(9): 1531-1541. [梁勇，李良群，王丽，等，2022. 民族药刺梨根茎化学成分及其抗炎活性研究[J]. 广西植物，42(9): 1531-1541.]

LUO XJ, 2011. Study on clarification technology of *Rose roxburghii* juice [J]. Light Ind Sci Technol, 27(04): 6-7. [罗小杰，2011. 刺梨果汁澄清技术研究[J]. 广西轻工业，27(4): 6-7.]

LUO Y, LIANG F, LI XX, et al.,2013. Application of tannase for the removal of tannin from *Roxburgh rosa* juice [J]. Food Sci,34(18): 41-44. [罗昱，梁芳，李小鑫，等，2013. 单宁酶对刺梨果汁单宁的脱除作用[J]. 食品科学，34(18): 41-44.]

NIE HONGDA ,2017. Study on decarboxylation of gallic acid[D]. Changsha: Hunan Normal University.[聂宏达，2017. 没食子酸脱羧反应的研究[D]. 长沙：湖南师范大学，2017.]

PRIGENT SVE, GRUPPEN H, VISSER AJWG, et al., 2003. Effects of non-covalent interactions with 5-*O*-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid) on the heat denaturation and solubility of globular proteins[J]. J Agr Food Chem, 51(17): 5088-5095.

QIAN ZY, GONG YL, LIANG FY, et al., 2021. Optimization of HPLC method for determination of ascorbic acid in *Roxburgh* from Guizhou province [J]. China Fruit Veg, 41(06): 120-125. [钱志瑶，龚艳丽，梁芳瑜，等，2021. 贵州省刺梨中抗坏血酸含量 HPLC 测定方法优化[J]. 中国果菜，41(6): 120-125.]

SHI CB, SUN XM, ZHAO JY, et al., 2022. Interaction mechanism between tannic acid and protein and its effects on physicochemical and functional properties of protein [J]. Sci Technol Food Ind, 43(14): 453-460. [石长波，孙昕萌，赵钜阳，等，2022. 单宁酸和蛋白质相互作用机制及其对蛋白质理化及功能特性影响的研究进展[J]. 食品工业科技，43(14): 453-460.]

SOARES S, GARCÍA-ESTÉVEZ I, FERRER-GALEGO R, et al., 2018. Study of human salivary proline-rich proteins interaction with food tannins[J]. Food Chem, 243: 175-185.

SZCZUREK A, 2021. Perspectives on Tannins[J]. Biomolecules, 11(3): 442-442.

TANG ZQ,YU DS,ZHU YJ, et al., 2021. Research progress on extraction, properties and application of ginger protease [J]. J Food Safe Qual, 12(1): 224-230. [唐泽群，余德顺，朱艺佳，等，2021. 生姜蛋白酶提取、性质及应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报，12(1): 224-230.]

WANG XX, TU CY, OU YPK,1994. Effect of Different Treatment Conditions on Components of *Rose roxburghii* Juice [J]. J Nanjing Technol Univ (Nat Sci Ed), (S1): 127-132. [王习霞，屠春燕，欧阳平凯，1994. 不同处理条件对刺梨汁成份的影响[J]. 南京化工大学学报，(S1): 127-132.]

WU Y, WEI AJ, YANG K, et al. Intervention study of roxburgh rose polysaccharide ex tract on type Ⅱ diabetes in mice[J/OL]. Guihaia. http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q.20221130.0955.001.html. [伍勇，韦艾骥，杨堃，等，2022. 刺梨多糖提取物对小鼠Ⅱ型糖尿病的干预研究[J/OL]. 广西植物.http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q.20221130.0955.001.html.]

YUE ZZ, WANG J, FANG LY, et al., 2016. Decolorization and tannin removal efficiency of *Rosa roxburghii* Trett juice with microporous adsorbent resins [J]. Food Sci,37(17): 109-114. [岳珍珍，王静，方利英，等，2016. 大孔吸附树脂对刺梨果汁单宁脱除及其色泽的影响[J]. 食品科学，37(17): 109-114.]

ZHANG CF, REN YM, LUO SQ, et al., 2017. Research progress on the stability of vitamin C in the processing of fruits and vegetables [J]. Cereal Food Ind, 24(5): 26-29. [张彩芳，任亚敏，罗双群，等，2017. 果蔬及其制品加工中维生素 C 稳定性的研究进展[J]. 粮食与食品工业，24(5): 26-29.]

ZHANG HS, WANG ML, TAN JJ, et al., 2022. Research progress on health care value of *Rosa roxburghii*[J]. Agric Dev Equip, (11): 137-139. [张怀山，王梦柳，谭晶晶，等，2022. 刺梨的医疗保健价值研究进展[J]. 农业开发与装备，(11): 137-139.]

ZHANG JC, CHEN LM, HU HJ,2020. Research progress on browning control technology of *Rosa Roxburghii* Tratt [J]. Mod Food, (16): 41-44. [张家臣，陈礼敏，胡海军，2020. 刺梨加工褐变控制技术研究进展[J]. 现代食品，(16): 41-44.]

ZHANG Y, LUO Y, LIU SF, et al., 2016. Flavor quality of *Rosa roxburghii* juice with different treatments for the removal of bitter and astringent tastes [J]. Food Sci,37(4): 115-119. [张瑜，罗昱，刘芳舒，等，2016. 不同脱苦涩处理刺梨果汁风味品质分析[J]. 食品科学，37(4): 115-119.]

ZHAO SC, WANG YG, 2022. Research progress of edible *Rose roxburghii* Tratt [J]. Food Ind, 43(3): 186-191. [赵斯尘，王永刚，2022. 药食同源刺梨的研究进展[J]. 食品工业，43(3): 186-191.]

ZHU YF, LI GR, ZHU B, et al.,2020. Optimization of prebiotic-rich *Rosa roxburghii* Trett juice formula [J]. Food Res Dev,41(13): 119-125. [朱一方，李贵荣，朱波，等，2020. 富含益生元的刺梨饮料配方的优化[J]. 食品研究与开发，41(13): 119-125.]

ZHU YJ, TANG ZQ, CHEN KK ,et al., 2023. Effects of different extraction techniques on the extracts of *Zingiber officinale* Roscoe and their chemical compositions [J]. Food Ferment Ind, 49(2): 113-119. [朱艺佳，唐泽群，陈可可，等，2023. 不同提取工艺对生姜提取物及化学组成的影响[J]. 食品与发酵工业，49(2): 113-119.]